

УДК 536.24

ОХЛАЖДЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВСКИПАЮЩЕЙ ВОДОЙ

*Канд. техн. наук, доц. БРАТУТА Э. Г., кандидаты техн. наук
ИВАНОВСКИЙ А. Ю., ПЕРЕСЕЛКОВ А. Р., инж. ПАВЛЕНКО Н. С.*

Харьковский ордена Ленина политехнический институт имени В. И. Ленина

Для тепловой защиты лопаточного аппарата высокотемпературных газовых турбин известно так называемое наружное охлаждение поверхности рабочих лопаток. Его организация связана с усложненной конструкцией распылителя, необходимостью подвода в проточную часть не только воды, но и воздуха, а также с затратами дополнительной мощности на сжатие воздуха, используемого для распыла жидкости.

В связи с этим целесообразно экспериментально проверить эффективность процесса теплообмена при охлаждении высокотемпературной поверхности вскипающим адиабатным потоком воды, процесс истечения которой в канале простой формы сопровождается частичным самоиспарением с образованием высокодисперсной жидкой фазы.

Центральный узел созданного стенда — генератор перегретой воды — представляет собой прямоточный котел. Отсутствие значительного парового объема и гарантированная скорость движения жидкости у поверхности нагрева делает такое решение в лабораторных условиях наиболее приемлемым с точки зрения техники безопасности. В качестве источника энергии используется трансформатор с низким вторичным напряжением 30 В и током, регулируемым переменным дросселем в интервале 200—700 А. Выделение тепла происходит при прохождении тока через обогреваемый участок трубы, по которой вода от насоса подается в сопло для диспергирования.

В установке выполнена рециркуляционная линия после насоса перед нагреваемым участком и соплом, позволяющая путем изменения расходов нагреваемой воды и воды, поступающей в сопло, независимо регулировать давление и температуру. Линия сброса необходима также для предотвращения перегрева стенок трубы обогреваемого участка при аварийном засорении сопла.

С учетом общих закономерностей истечения вскипающих адиабатных потоков [1, 2] сопло должно быть комбинированным, угол раскрытия рекомендуется меньшим, чем при

истечении пара. Практически все известные экспериментальные работы выполнены при угле раскрытия $3\div 5^\circ$, так как считается, что если он больше 6° , то резко возрастают потери.

Для такой геометрической характеристики сопла, как отношение площади выходного сечения к площади горла $F_{\text{вых}}/F_r$, рекомендации не имеют обобщающего характера, в связи с чем было спроектировано сопло с фиксированным размером горла $d_r=2$ мм и изменяемым выходным сечением при постоянном угле раскрытия, равном 5° .

Представленные ниже результаты получены при испытаниях сопла с величиной $F_{\text{вых}}/F_r=16$, при давлении перед ним $p=0,29$ МПа и температуре воды $100\text{--}130^\circ\text{C}$. Абсолютные значения режимных параметров выдержаны в следующих пределах: давление — с точностью до $3\cdot 10^3$ Па, температура — с точностью до 1°C .

Измерение локального значения плотности орошения выполнялось отборной трубкой с последующим отводом воды в мерную емкость.

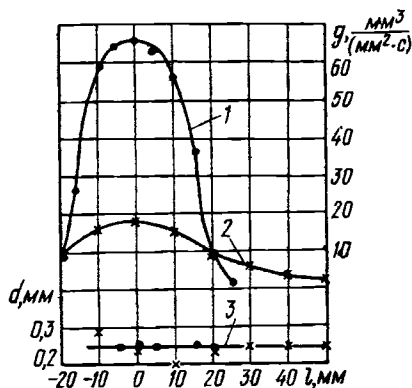


Рис. 1. 1, 2 — удельные плотности орошения; 3 — модальный диаметр капель в поперечных сечениях потока;

— — — $\Delta h = 230$ мм; —x— — 730

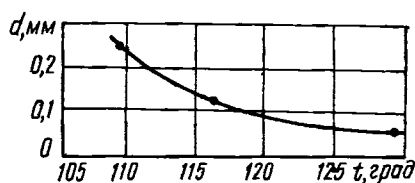


Рис. 2. Влияние температуры воды перед соплом на размер капель

Представленные на рис. 1 графики получены на различном расстоянии от среза сопла. Максимальная плотность орошения находится на оси факела ($l=0$), по мере удаления от нее локальные значения плотности орошения симметрично уменьшаются. При увеличении расстояния от среза сопла происходит выравнивание полей плотности орошения в поперечном сечении факела.

Полученное распределение плотности орошения сходно с распределением в струйных форсунках. Однако в отличие от последних, где дисперсный состав жидкости в поперечном сечении весьма неоднороден (в ядре потока размер капель существенно превосходит размер периферийных капель), измерения обнаружили практически однородный дисперсный состав во всем сечении факела вскипающей жидкости. Определение размеров капель, выполненное на различных расстояниях от среза сопла, показало, что формирование структуры дисперсного потока завершается на расстоянии 200 мм от среза сопла и далее изменение размеров капель не происходит.

Определение дисперсного состава капельного потока производилось счетно-импульсным методом [3], основанным на регистрации импульсов тока, возникающих при замыкании каплями электродов зонда. Получаемая экспериментальная зависимость частоты замыканий от расстояния между электродами позволяет вычислить дисперсные характеристики потока.

Изменение начальной температуры воды при неизменном давлении обнаружило, что увеличение температуры воды перед соплом приводит к уменьшению размеров капель. Зависимость величины модального диаметра капель от начальной температуры приведена на рис. 2.

Измерение значений удельного теплового потока при орошении высокотемпературной поверхности распыленной водой производилось локальным тепломером. Его рабочим элементом была нагреваемая постоянным током нихромовая лента толщиной 0,5 мм, на которой выделяется изотермический мерный участок размером 6×6 мм. Нижняя и боковые поверхности ленты изолированы. Рабочий элемент тепломера нагревается постоянным током от генератора. Регулирование постоянного тока производится изменением напряжения на обмотках возбуждения генератора.

Исследования проводились при стационарной температуре поверхности тепломера. С помощью трех термопар измерялась температура нижней изолированной поверхности ленты, а затем по тепловому потоку вычислялась температура орошаемой поверхности.

Так как на настоящем этапе исследования не ставилась цель изучения отдельного влияния дисперсного состава и плотности орошения, опыты этой серии были выполнены при постоянных параметрах воды перед соплом ($p=0,29$ МПа, $t=118^\circ\text{C}$). Различные значения плотности орошения при неизменном режиме истечения были получены при изменении расстояния Δh между выходным сечением сопла и тепломером от 200 до 800 мм.

Результаты исследования охлаждающей способности потока вскипающей жидкости представлены на рис. 3 в виде зависимости коэффициента теплоотдачи α и удельного теплового потока q от плотности орошения. Сравнение наших данных с аналогичными,

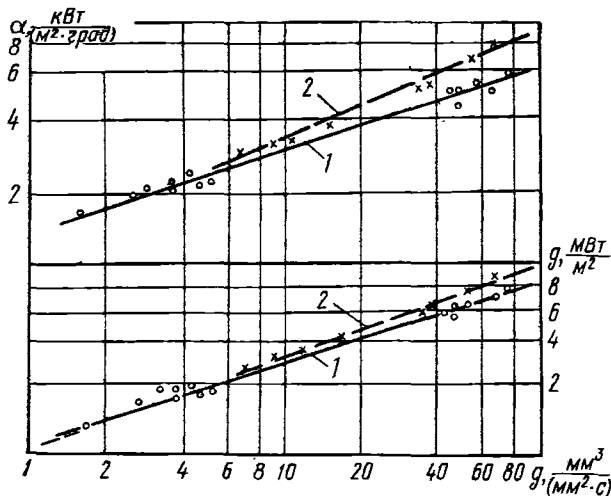


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи α и удельного теплового потока q от плотности орошения:

1 — охлаждение поверхности вскипающей водой; 2 — охлаждение при водо-воздушном распыливании воды

полученными при распыливании холодной воды с помощью струйной форсунки, свидетельствует о том, что при равных значениях локальной плотности орошения величины коэффициентов теплоотдачи сопоставимы.

Температура воды перед тепломером при больших плотностях орошения ($g=50\div 60$ мм³/мм²·с) составляла 85°C , в то время как диспергируемая плоскоструйной форсункой вода имела температуру $17\div 20^\circ\text{C}$. В этой связи следует отметить, что в [4] при водяном охлаждении поверхности было установлено весьма существенное влияние температуры охлаждающей воды на интенсивность теплообмена. Так, повышение температуры от 20 до 85°C приводило к уменьшению тепловых потоков на 34 %. Опытные данные, показанные на рис. 3, не подтверждают столь существенное влияние температуры охладителя.

ВЫВОДЫ

1. Обнаружено, что поток вскипающей жидкости имеет однородный дисперсный состав в сечении факела по сравнению с капельными потоками, полученными известными способами диспергирования жидкости.

2. Для управления траекторией капель в газовом потоке (с целью направленного охлаждения термически напряженных участков профиля) установлена возможность регулирования размеров капель за счет изменения температуры воды перед соплом.

3. Показано, что интенсивность охлаждения высокотемпературной поверхности с помощью вскипающей воды при равных плотностях орошения сопоставима с интенсивностью охлаждения водо-воздушной средой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Циклаури Г. В., Данилин В. С., Селезнев Л. И. Адиабатные двухфазные течения.— М.: Атомиздат, 1973, с. 292—320.
2. Вскипающие адиабатные потоки / Под ред. В. А. Зысина.— М.: Атомиздат, 1976.— 152 с.
3. Братута Э. Г., Переселков А. Р. К вопросу о новом методе измерения размеров капель.— Энергетическое машиностроение, 1974. Вып. 18, с. 130—136.
4. Морозов Н. А. Некоторые закономерности процесса охлаждения в условиях высоких температур и движения изделий с вибрацией / Под ред. А. В. Лыкова, Б. М. Смольского.— В сб.: Тепло- и массоперенос, т. III. М — Л.: ГЭИ, 1963, с. 582—588.

Представлена кафедрой общей теплотехники

[1.9.1981]